Iranian Food Science and Technology
Research Journal
Homepage: https://ifstrj.um.ac.ir

Research Article
Vol. 20, No. 2, May-June 2024, p. 281-293

Effect of Hydrothermal/dry Heating and Particle Sizes of Rice Flour on Quality of Gluten-free Bread

A. Hashemi Shektai[1], J. Mohammadzadeh Milani[2*], A. Motamedzadegan[2], S. Haghighat-Kharazi[3]

1, 2 and 3- M.Sc. Graduated Student, Professor and Ph.D. Graduated Student, Department of Food Science and Technology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: jmilani@sanru.ac.ir)

Received: 08.06.2023 Revised: 12.07.2023 Accepted: 20.07.2023 Available Online: 22.07.2023	**How to cite this article:** Hashemi Shektai, A., Mohammadzadeh Milani, J., Motamedzadegan, A., & Haghighat-Kharazi, S. (2024). Effect of hydrothermal/dry heating and particle sizes of rice flour on quality of gluten-free bread. *Iranian Food Science and Technology Research Journal, 20*(2), 281-293. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ifstrj.2023.82845.1263

Introduction

Due to the low amount of prolamin, rice flour is the most suitable raw material for preparing food for patients with celiac disease. Particle size classification and thermal treatments are among the physical methods to improve the functional characteristics of gluten-free flours and as a result, improve the quality of the products obtained from them. Particle size can increase the quality of gluten-free products by affecting the physicochemical properties of flour during hydration. Dry heat treatment and moist heat treatment are common techniques for physical modification which, depending on the intensity of temperature and storage time, lead to the improvement of gluten-free products by modifying starch grains, aroma, and flavor, and reducing microbial load. Considering that the effect of rice flour particle size on the quality of gluten-free bread has not been studied so far, in the current research, by dividing rice flour into particles with sizes of 180, 150, and 125 microns and using moist and dry heat treatments, The possibility of improving the functional characteristics of rice flour and improving the quality characteristics of gluten-free bread were investigated.

Materials and Methods

The content of moisture, pH, ash, and protein of rice flour was measured using AACC standard method (2000) and the total amount of starch was measured by the alkaline extraction method and the amount of starch damage was measured by non-enzymatic rapid method. To classify the size of the particles, waxy rice flour was divided by a shaker sieve with different sizes of 180, 150, and 125 microns, then under the influence of dry heat treatment for 2 hours and moist heat treatment with 25% humidity for 5 hours at a 110°C To produce gluten-free bread, the formulation used by Haghighat-Kharazi (2020) was used with a slight change. Ingredients for gluten-free bread formulation for 100 grams of rice flour included 125 ml of water, 4.5 grams of sugar, 2 grams of salt, 6 grams of vegetable oil, 3 grams of yeast, and 2 grams of xanthan gum. Bread characteristics, which include weight loss, specific volume, oven spring, crumb crust ratio, shape index, porosity, crust and crumb color, and bread texture analysis were studied to evaluate the quality of bread. Finally, the factorial test was used to investigate the effects of particle size and heat treatment of rice flour, and Duncan's multiple range test was used to compare the means at the 5% probability level.

Results and Discussions

https://doi.org/10.22067/ifstrj.2023.82845.1263

The results showed that the effect of particle size on weight loss, specific volume, oven spring, crumb to crust ratio, crust, and crumb color parameters, and bread texture was not significant ($p>0.05$). Regarding the sample volume index, C80 and DHT120 significantly had the lowest volume index ($p<0.05$). The HMT80-treated sample significantly increased the weight loss, and the moist heat-treated samples significantly increased the specific volume and the core to shell crumb ($p<0.05$). Sample treated with HMT 120 had the highest volume index. moist heat treatment and dry heat led to significantly decrease in brightness and an increase in the yellowness of the crust and crumb of the bread compared to the control sample, but there was no significant change in the amount of redness ($p<0.05$). Moist heat treatment samples had the lowest hardness and chewiness compared to the control sample and the dry heat treatment sample. In general, the sample obtained from 125-micron flour particle size and moist heat treatment led to the improvement of gluten-free bread quality.

Keywords: Celiace disease, Gluten-free bread, Physical modification, Waxy rice

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
https://ifstrj.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۲۰، شماره ۲، خرداد-تیر ۱٤۰۳، ص.۲۹۳-۲۸۱

تأثیر حرارت‌دهی خشک و مرطوب و اندازه ذرات آرد برنج بر کیفیت نان بدون گلوتن

علی هاشمی شکتایی[۱]- جعفر محمد زاده میلانی[۲]*- علی معتمدزادگان[۲]- سپیده حقیقت خرازی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۲۹

چکیده

تیمار حرارتی (خشک و مرطوب) ازجمله روش‌های فیزیکی جهت اصلاح ویژگی‌های عملکردی آردهای بدون گلوتن و بهبـود کیفیت محـصولات حاصـل از آن‌هـا می‌باشد. طبیعتا تأثیر حرارت متأثر از اندازه ذرات حرارت‌دهی شده است. در این پژوهش، آرد برنج واکسی در اندازه ذرات مختلف (۱۸۰، ۱۵۰ و ۱۲۵) میکرون تحت تأثیر تیمار حرارتی خشـک به‌مدت ۲ سـاعت و تیمار حرارتی مرطوب (رطوبت، ٪۲۵) به‌مدت ۵ سـاعت در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد مورد مطالعه قرار گرفت. در این بررسی میزان آسیب‌دیدگی نشاسته آرد برنج و خصوصیات کیفی نان بدون گلوتن از قبیل درصد افت وزنی، حجم مخصوص نان، اندیس‌های شکل، آون اسپرینگ، رنگ مغز و پوسته و بافت نان مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد تیمارهای حرارتی خشک و مرطوب بطور معنی‌دار منجر به کاهش میزان آسیب‌دیدگی نشاسته شدند. تأثیر اندازه ذرات بر افت وزنی، اندیس تقارن و یکنواختی، آون اسپرینگ و رنگ مغز و پوسته معنی‌دار نبود، اما تیمار حرارتی مرطوب نمونه حاصل از اندازه ذرات کمتر از ۱۸۰ میکرون افت وزنی را در طی پخت افزایش داد. تیمار حرارتی مرطوب آرد برنج منجر به افزایش حجم مخصوص، نسبت مغز به پوسته، اندیس حجم، تیرگی و زردی پوسته و مغز نان حاصل شد، در حالی‌که میزان سـفتی و قابلیت جویدن نمونه‌ها را کاهش داد. بطور کلی نمونه حاصـل از ذرات ۱۲۵ میکرون و تیمار حرارتی مرطوب منجر به بهبود کیفیت نان بدون گلوتن شد.

واژه‌های کلیدی: اصلاح فیزیکی، برنج واکسی، بیماری سلیاک، نان بدون گلوتن

مقدمه

آرد برنج یکی از مناسب‌ترین آردهای غلات برای تهیه غذای بیماران مبتلا به بیماری سلیاک است. مناسب بودن آرد برنج به‌دلیل سطح پایین پرولامین آن در مقایسه با آرد گندم است (Kim, 2013). برنج واکسی برخلاف سایر انواع برنج دارای بافتی نرم، چسبناک و احساس دهانی بهتر است. آرد برنج واکسی در صنایع غذایی به‌عنوان عامل غلیظ‌کننده سس‌ها، پودینگ‌ها استفاده می‌شود و هنگامی‌که این محصولات منجمد، ذخیره و متعاقباً ذوب می‌شوند، می‌تواند از سینرزیس جلوگیری کند (Bao & Bergman, 2018; Seow *et al.*, 2019). محصولات بدون گلوتن به‌دلیل عدم حضور گلوتن از کیفیت خوبی برخوردار نیستند. رویکردهای اعمال شده برای بهبود خواص نان بدون گلوتن را می‌توان به دو روش متفاوت نخست، از دیدگاه علمی با تغییرات در فرمول یا از دیدگاه تکنولوژیکی یا فناوری طبقه‌بندی کرد (Ramos *et al.*, 2021). تغییر در اندازه ذرات از جمله روش ساده‌های تیمار فیزیکی با تأثیر بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آرد مانند جذب آب، احتباس حلال، ته‌نشینی و خواص چسبندگی در بهبود خواص رئولوژیکی آرد مؤثر می‌باشد که سبب افزایش کیفیت محصولات بدون گلوتن می‌شود (Kurek & Sokolova, 2019; Pang *et al.*, 2021).

تیمارهای حرارتی معمولاً در آردهای با محتوای چربی بالا، مانند یولاف (جو دو سر) یا آردهای غلات کامل، به‌ویژه آرد برنج، با هدف غیرفعال کردن آنزیم‌های متابولیزه‌کننده چربی مانند لیپازها و

۲،۱ و ۳- به‌ترتیب دانش‌آموخته مقطع کارشناسی ارشد، استاد و دانش‌آموخته مقطع دکتری گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: jmilani@sanru.ac.ir)

https://doi.org/10.22067/ifstrj.2023.82845.1263

لیپوکسیژنازها ضروری هستند، همچنین بسته به شدت دما و زمان نگهداری با اصلاح دانه‌های نشاسته، عطر و طعم و کاهش بار میکروبی منجر به بهبود کیفیت محصولات بدون گلوتن می‌گردد. تیمار حرارتی مرطوب یکی از روش‌هایی است که در دمای بالاتر از نقطه ژلاتینه شدن (۱۲۰-۹۰ درجه سانتی‌گراد)، در رطوبت کم معمولاً کمتر از ۳۵٪ به‌مدت مشخص (۱۵ دقیقه تا ۱۶ ساعت) خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نشاسته را بدون از بین بردن ساختار گرانول آن تغییر می‌دهند، و سبب افزایش دمای ژلاتینه شدن، ظرفیت اتصال آب و در بیشتر موارد حساسیت گرانول به هیدرولیز آنزیمی می‌شود که برای نان و سایر اقلام نانوایی بدون گلوتن، ژلاتینه شدن تأخیری ممکن است دوره انبساط نان را طولانی کند و سبب افزایش حجم نان‌ها و بهبود ویژگی بافتی و کیفیت آنها می‌شود (Gomez & Martinez¸ 2016).

مطالعات انجام شده جهت بهبود خصوصیات نان بدون گلوتن بیشتر به تغییرات در فرمول پرداخته است و تحقیقات معدودی مبتنی بر تکنولوژی یا فناوری صورت گرفته است، به‌عنوان مثال دلاهرا و همکاران (De la Hera *et al.*¸ 2013)، در مطالعه‌ای تأثیر نوع برنج، اندازه ذرات آرد و محتوای آب خمیر را در تهیه نان بدون گلوتن گزارش کردند نان‌های دارای ۱۱۰ گرم آب به ازای هر ۱۰۰ گرم آرد، نوع برنج مورد استفاده بیشتر از حجم مخصوص بر روی بافت نان‌ها اثر داشت. کین و همکاران (Qin *et al.*¸ 2021)، در مطالعه‌ای تأثیر اندازه ذرات بر خواص آرد و نان برنجی بدون گلوتن مشاهده کردند با کاهش اندازه ذرات، دمای ژلاتینه شدن کاهش، ویسکوزیته چسبندگی و هیدراتاسیون آرد برنج افزایش یافت، همچنین نان برنج ساخته شده از ذرات بزرگتر دارای حجم قابل توجهی کمتر، بافت سفت‌تر نسبت به نان تهیه شده از اندازه ذرات کوچکتر بود. رنزتی و همکاران (Renzetti *et al.*¸ 2022)، مشاهده کردند آرد لوبیا چشم بلبلی تحت عملیات حرارتی خشک در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲ ساعت، نانی با بالاترین نرمی، انسجام و انعطاف‌پذیری به همراه داشت. خوانچای و فونگ (Khwanchai & Fong., 2022)، گزارش کردند جایگزینی جزیی آرد برنج شکسته در تولید نان گندم تحت فرآیند حرارتی خشک در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲ ساعت، نانی با بیشترین حجم مخصوص (۲/۸ سانتی‌متر مکعب بر گرم) تولید کرد و در مقایسه با نان آرد گندم تفاوت معنی‌داری در فنریت نداشت و بیشترین نمره پذیرش کلی را به خود اختصاص داد. استفاده از برنج و آرد ذرت تیمار شده با هیدروترمال جهت تولید نان‌های مبتنی بر برنج و بلغور نشان داد، حجم ویژه نان‌های بدون گلوتن بهبود یافت، علت آن ویسکوزیته اولیه بالاتر آردهای تیمار شده می‌باشد که این امر می‌تواند امکان به دام افتادن حباب‌های حاصل از تخمیر را افزایش دهد (Naqash *et al.*¸ 2017).

با توجه به اینکه تاکنون تأثیر برهمکنش اندازه ذرات و تیمار حرارتی آرد برنج بر ویژگی کیفی نان بدون گلوتن مورد مطالعه قرار نگرفته است در این پژوهش با تقسیم‌بندی آرد برنج به ذرات با اندازه‌های ۱۸۰، ۱۵۰ و ۱۲۵ میکرون و استفاده از تیمار حرارتی مرطوب و خشک امکان اصلاح ویژگی‌های عملکردی آرد برنج و بهبود ویژگی‌های کیفی نان بدون گلوتن مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مواد مورد استفاده جهت تهیه نان بدون گلوتن شامل آرد برنج زرک (بازار محلی در شهرستان ساری) بود که جهت تعیین اندازه ذرات مقدار ۱۰۰ گرم آرد برنج بروی الک‌هایی با مش ۸۰، ۱۰۰و۱۲۰ که به‌ترتیب از بزرگ به کوچک روی شیکر الک قرار گرفته بود ریخته شد، بعد از ۱۰ دقیقه لرزش آرد حاصل به سه قسمت به‌ترتیب با اندازه ذرات ۱۸۰، ۱۵۰، ۱۲۵ میکرون تقسیم شد. سایر مواد شامل صمغ زانتان (از شرکت فوفنگ چین)، روغن مایع گیاهی آفتابگردان (از شرکت لادن، ایران)، مخمر نانوایی فوری (از شرکت رضوی، ایران) شکر، و نمک بود.

تعیین ترکیبات شیمیایی آرد برنج

محتوای رطوبت، pH، خاکستر، پروتئین آرد برنج با استفاده از روش استاندارد AACC (۲۰۰۰) و مقدار کل نشاسته به روش استخراج قلیایی اندازه‌گیری شد (Lawal *et al.*¸ 2011).

عملیات حرارتی خشک

نمونه‌های آرد برنج الک شده به میزان ۱۰۰گرم در فلاسک حجمی شیشه‌ای (۵۰۰ میلی‌لیتر) به‌مدت ۲ ساعت در دمای۱۱۰ درجه سانتی گراد جهت انجام عملیات حرارتی خشک در آون (Memmert، مدل UFLLO، آلمان) گرم شدند (Bae & Lee¸ 2018).

عملیات حرارتی مرطوب

جهت تنظیم رطوبت آرد برنج زرک به ۲۵ درصد مقدار آب مورد نیاز از اختلاف بین رطوبت نمونه و محتوای رطوبت مورد نظر محاسبه شد، سپس آب روی ۱۰۰ گرم نمونه در فلاسک حجمی شیشه‌ای (۵۰۰ میلی‌لیتر) ریخته و مخلوط شد و به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط نگهداری شد. تیمار حرارتی در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۵ ساعت در آون (Memmert، مدل UFLLO، آلمان) انجام شد (Ruiz *et al.*¸ 2018).

تعیین نشاسته آسیب‌دیده

جهت اندازه‌گیری آسیب‌دیدگی نشاسته از روش غیرآنزیمی‌سریع استفاده گردید. محلول استخراج‌کننده در این روش شامل ۱/۶۷ درصد اسید تری‌کلرواستیک ۰/۵ درصد تیوسیانات پتاسیم، محلول رنگ‌کننده شامل ۰/۲ درصد کریستال ید و ۲ درصد یدور پتاسیم بود. به ۰/۵ گرم آرد،۲۰ میلی‌لیتر محلول استخراج کننده اضافه گردید و عمل استخراج طی ۱۵ دقیقه انجام شد. صاف کردن محلول با کاغذ واتمن شماره یک انجام شد و مقدار ۲ میلی‌لیتر محلول صاف شده به بالن ۲۵ میلی‌لیتر منتقل شد و ۱ میلی‌لیتر محلول رنگ‌کننده به آن اضافه گردید، سپس بالن به حجم رسانیده شد و پس از ۱۰ دقیقه سکون مقدار جذب محلول در طول موج ۶۰۰ نانومتر خوانده شد و با فرمول زیر مقدار آسیب‌دیدگی نشاسته برحسب واحد فارند به دست آمد (McDermott¸ 1980).

(۱)   ۲/۱ + ۰/۹۷ × (۱۰ × میزان جذب) = آسیب دیدگی نشاسته

فرمول نان بدون گلوتن

نان‌های بدون گلوتن پخته شده در این پژوهش با استفاده از روش حقیقت و همکاران (Haghighat-Kharazi *et al.*¸ 2020)، با کمی تغییر تهیه شدند. جهت تولید خمیرآبه ابتدا آرد برنج (۱۰۰ گرم)، شکر (۴/۵ گرم)، نمک (۲ گرم)، مخمر (۳ گرم) و صمغ زانتان (۲ گرم) با هم مخلوط شدند، سپس آب (۱۲۵ میلی‌لیتر) و روغن (۶ گرم) اضافه شد و با استفاده از همزن مخلوط شدند. خمیرآبه در قالب پخت ریخته شد و به‌مدت ۲۵ دقیقه با رطوبت ۸۵٪ استراحت داده شد، سپس به‌مدت ۱۵ دقیقه در یک آون برقی نیمه صنعتی (صنایع پخت مشهد، ساخت ایران) با درجه حرارت (بالای فر ۱۹۰، پایین فر ۲۳۰ درجه سانتی‌گراد) پخته شد. نمونه‌ها پس از پخت، تا دمای محیط خنک و در کیسه‌های پلی اتیلن جهت انجام آزمایشات بعدی نگهداری شدند.

درصد افت وزنی

افت وزنی با وزن کردن نان طی ۲۴ ساعت پس از پخت با استفاده از رابطه فرمول زیر محاسبه شد (De la Hera *et al.*¸ 2013).

$$\text{درصد افت وزنی} = \frac{\text{وزن نان} - \text{وزن خمیرآبه}}{\text{وزن خمیرآبه}} \times 100 \qquad (۲)$$

حجم مخصوص نان

حجم مخصوص نان (cm^3/g) با تقسیم کردن حجم نمونه به وزن آن تعیین شد. حجم نمونه با روش جابجایی دانه کلزا و وزن نمونه با استفاده از ترازوی با دقت ۰/۰۱ گرم دیجیتال اندازه‌گیری شد (AACC¸ 2000).

آون اسپرینگ

آون اسپرینگ از اختلاف ارتفاع خمیرآبه تخمیر شده و نان بلافاصله پس از پخت محاسبه شد (Shittu *et al.*¸ 2008).

نسبت مغز به پوسته

جهت ارزیابی نسبت مغز به پوسته با استفاده از تیغ تیز پوسته از مغز جدا شد، سپس هر قسمت بصورت جداگانه وزن شده و نسبت وزنی آنها بر پایه وزن خشک محاسبه شد (Haghighat-Kharazi *et al.*¸ 2020).

اندیس‌های حجم، تقارن و یکنواختی

اندیس های حجم، تقارن و یکنواختی نان با استفاده از روش مرجع AACC ۱۰-۹۰ محاسبه شد.

ارزیابی رنگ مغز و پوسته

جهت آنالیز رنگ مغز و پوسته تصاویر تهیه شده توسط نرم‌افزار Image J مورد پردازش قرار گرفت. سه پارامتری که در آنالیز رنگ مورد ارزیابی قرار گرفت شامل مقادیر روشنایی (L)، قرمزی-سبزی (a) و آبی-زردی (b) بود.

ارزیابی بافت نان

ارزیابی بافت نمونه‌های نان بدون گلوتن بوسیله دستگاه بافت‌سنج (Brookfield, USA) انجام شد. جهت انجام این آزمون نمونه با ابعاد 25×25×25 میلی‌متری از قسمت مرکزی نان برش داده شد، سپس پروب با سرعت ۱ میلی‌متر بر ثانیه تا ۴۰ درصد ارتفاع اولیه نمونه مورد ارزیابی قرار گرفت. فاکتورهای مورد ارزیابی شامل سفتی، ارتجاعیت، بهم پیوستگی، فنریت و قابلیت جویدن بود (Lazaridou *et al.*¸ 2007).

ارزیابی حسی نان‌های بدون گلوتن

ارزیابی حسی نان‌های بدون گلوتن توسط ۷ نفر افراد نیمه آموزش دیده که به بیماری سلیاک مبتلا نبودن با استفاده از روش هدونیک ۵ نقطه‌ای که از امتیاز ۱ (نامطلوب) تا ۵ (مطلوب) انجام گرفت. ویژگی هایی نظیر فرم و شکل، خصوصیات پوسته و سطح رویی و زیرین، تخلخل، سفتی و نرمی بافت، قابلیت جویدن و طعم (بو و مزه) نان بدون گلوتن در این پژوهش مورد بررسی ارزیاب‌ها قرار گرفتند.

آنالیز آماری

تمام داده‌های پارامترهای آرد برنج و نان حاصل با استفاده از آزمون فاکتوریل، جهت بررسی اثرات اندازه ذرات (سه سطح: ۱۸۰، ۱۵۰، ۱۲۵ میکرون) و تیمار حرارتی آرد برنج (سه سطح: حرارت خشک، حرارت مرطوب، حرارت‌دهی نشده یا شاهد) بوسیله نرم‌افزار spss ورژن ۲۶ حداقل در دو تکرار تجزیه و تحلیل شدند. جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه دانکن در سطح احتمال ۵٪ استفاده گردیده شد.

نتایج و بحث

ترکیب شیمیایی آرد برنج

میزان پروتئین ۸/۷٪، خاکستر ۰/۳۸٪، رطوبت ۱۱/۴۶٪، نشاسته ۷۸/۴۸٪ بر مبنای وزن مرطوب آرد برنج با pH برابر با ۶/ ۶ بود. در مطالعه حاضر مقدار نشاسته کمتر و مقدار پروتئین و رطوبت آرد برنج بیشتر از نتایج بدست آمده توسط کین و همکاران (Qin *et al.*, 2016) بود این تفاوت می‌تواند به علت پارامترهایی نظیر موقعیت‌های جغرافیایی، آب، خاک، هوا و واریته باشد.

میزان آسیب دیدگی نشاسته

نتایج مربوط به میزان آسیب دیدگی نشاسته در جدول ۱ نشان داده شده است. تیمار حرارتی و اندازه ذرات آرد برنج و اثر متقابل آنها تأثیر معنی‌داری بر میزان آسیب‌دیدگی نشاسته نشان دادند (p<۰/۰۵). نمونه های تیمار حرارتی خشک و تیمار حرارتی مرطوب از میزان آسیب‌دیدگی نشاسته کمتری نسبت نمونه شاهد برخوردار بودند. نمونه‌های تیمار حرارتی مرطوب کاهش بیشتری را نسبت به تیمار حرارتی خشک نشان دادند که این امر به‌دلیل بازآرایی بیشتر ناحیه آمورف در دانه‌های نشاسته آسیب‌دیده توسط فرآیند تیمار حرارتی مرطوب نسبت داده می‌شود (Hong *et al.*, 2019). نمونه تیمار حرارتی مرطوب با اندازه ذرات کمتر از ۱۲۵ میکرون کمترین میزان سطح آسیب دیدگی نشاسته را به خود اختصاص داد. در طول تیمار حرارتی مرطوب تجمع و همجوشی قابل توجهی گرانول‌های نشاسته رخ می‌دهد که میزان آن به نوع کریستالیت نشاسته مرتبط است. علت بازآرایی بیشتر نمونه‌های حاصل از تیمار حرارت مرطوب به شکل، اندازه ذرات، دمای ژلاتینه شدن و محتوای رطوبت وابسته است (Liu *et al.*, 2020). محتوای رطوبت بیشتر نمونه‌های تیمار حرارت مرطوب نسبت به نمونه‌های تیمار حرارت خشک همچنین نشاسته ریزتر اندازه ذرات ۱۲۵ میکرون سبب نفوذ بیشتر مولکول‌های آب به داخل گرانول‌های نشاسته می‌شود، این امر در نهایت منجر به بازآرایی بیشتر و کاهش میزان آسیب‌دیدگی نشاسته در طول تیمار حرارتی مرطوب می‌شود. لیو و همکاران (Liu *et al.*, 2020)، در بررسی مورفولوژی، ساختار و خواص فیزیکی و شیمیایی نشاسته آسیب‌دیده ماش، سیب‌زمینی، ذرت و ذرت مومی قبل و بعد از عملیات حرارتی گزارش کردند محتوای نشاسته آسیب‌دیده نمونه‌ها پس از عملیات حرارتی کاهش یافت.

جدول ۱- میزان آسیب‌دیدگی نشاسته در تیمارهای مختلف آرد برنج واکسی

Table 1- The extent of starch damage in different treatments of waxy rice flour

تیمارها Treatments	درصد آسیب دیدگی نشاسته Starch damage
C 80	3.98 ± 0.01^{c}
DHT 80	3.77 ± 0.01^{c}
HMT 80	2.86 ± 0.02^{e}
C 100	4.69 ± 0.09^{a}
DHT 100	4.25 ± 0.07^{b}
HTT 100	2.64 ± 0.01^{f}
C 120	4.77 ± 0.04^{a}
DHT 120	3.52 ± 0.02^{d}
HTT 120	2.30 ± 0.02^{g}

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین نمونه‌ها است (p<۰/۰۵).

Different letters in each column indicate significant differences between samples (p<0.05).

درصد افت وزنی

نتایج حاصل از درصد افت وزنی در جدول ۲ ارائه شده است. تأثیر اندازه ذرات و حرارت خشک بر افت وزنی معنی‌دار نبود (p>۰/۰۵). تیمار حرارتی مرطوب منجر به تفاوت معنی‌داری شد، بطوری‌که در بین نمونه‌های تیمار حرارتی مرطوب نمونه HMT 80 بطور معنی‌داری نسبت به تمام نمونه‌ها افت وزنی بیشتری را نشان داد. هرچه اندازه ذرات درشت‌تر باشد به‌دلیل کمتر بودن نسبت سطح به حجم گروه‌های عاملی موجود در سطح که بتوانند وارد واکنش با آب و هیدراته شدن شوند کمتر و جذب آب کمتر است در نتیجه منجر به کاهش وزن بالا می شود (De La Hera *et al.*, 2014). احتمالا توسعه بیشتر خمیرآبه

ذرات درشت حاصل از آرد تیمار حرارتی مرطوب و دمای چسباندن دیر هنگام این خمیرآبه منجر می‌شود مدت زمان طولانی‌تری در معرض کم‌آبی در فر قرار بگیرد و افت وزنی بیشتر شود (Villanueva *et al.*¸ 2019).

حجم مخصوص

نتایج مربوط به حجم مخصوص نان‌های بدون گلوتن مختلف در جدول ۲ آورده شده است. تیمار حرارتی مرطوب آرد برنج تأثیر معنی داری بر حجم مخصوص نان بدون گلوتن داشت (p<۰/۰۵). نمونه‌های تیمار حرارتی مرطوب بدون تفاوت معنی‌داری نسبت به هم بیشترین حجم مخصوص را به خود اختصاص دادند. تغییر در اندازه ذرات و تیمار حرارتی خشک آرد برنج تفاوت معنی‌داری بر حجم مخصوص نمونه‌ها نداشتند. بنابراین تیمار حرارتی مرطوب آرد نسبت به تغییر اندازه ذرات و حرارت خشک بر حجم مخصوص نان مؤثرتر بود. ویلانیوا و همکاران (Villanueva *et al.*¸ 2019)، گزارش کردند نان حاصل از آرد برنج اصلاح شده تیمار حرارتی مرطوب توسط مایکروویو تأثیر معنی‌داری بر حجم مخصوص نان دارد بطوری‌که منجر به نان با بالاترین حجم مخصوص می‌شود.

آون اسپرینگ

نتایج حاصل از اندازه‌گیری آون اسپرینگ نمونه‌های مختلف در جدول ۲ ارائه شده است. همانطور که نتایج نشان می دهد تأثیر اندازه ذرات بر افت وزنی معنی‌دار نبود نمونه تیمار HMT 120 نسبت به نمونه DHT 120 بطور معنی‌داری از آون اسپرینگ بیشتری برخوردار بود (p<۰/۰۵). احتمالا ویسکوزیته بیش از حد خمیرآبه حاصل تیمار حرارت خشک با اندازه ذرات کمتر از ۱۲۵ میکرون مانع ور آمدن خمیرآبه شده است، همچنین تأثیر اندازه ذرات بر میزان آون اسپرینگ معنی‌دار نبود (p>۰/۰۵). رمزی و پوترا (Ramzy & Putra.¸ 2021)، در پژوهشی که بر خصوصیات فیزیکی نان سفید جایگزین آرد لوبیا قرمز با اندازه ذرات مختلف داشتند مشاهده کردند، اندازه ذرات متفاوت لوبیا قرمز منجر به تغییر معنی‌داری در آون اسپرینگ نمونه‌ها نشد.

نسبت مغز به پوسته

نتایج مربوط به نسبت مغز به پوسته در جدول ۲ ارائه شده است. طبق نتایج بدست آمده نمونه‌های تیمار حرارتی مرطوب بطور معنی داری بیشترین نسبت مغز به پوسته را به خود اختصاص دادند (p<۰/۰۵). نمونه‌های تیمار حرارتی خشک و نمونه‌های شاهد از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری نداشتند، همچنین تأثیر اندازه ذرات بر نسبت مغز به پوسته معنی‌دار نبود (p>۰/۰۵). بیشترین نسبت مغز به پوسته مربوط به نمونه نان حاصل از تیمار حرارتی مرطوب با اندازه ذرات کمتر از ۱۲۵ میکرون بود. احتمالا تیمار حرارتی مرطوب با کاهش میزان پیش سازهای واکنش مایلارد منجر به ایجاد پوسته با ضخامت کمتر می‌شود و سبب افزایش نسبت مغز به پوسته می‌گردد.

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نان های بدون گلوتن

Table 2- Physicochemical characteristics of gluten-free breads

انواع نان Breads	افت وزنی Weight loss (%)	حجم مخصوص نان (cm³/gr) Loaf specific volume	آون اسپرینگ Oven Spring (mm)	نسبت مغز به پوسته Crumb/crust ratio
C 80	25.19± 0.63[a]	2.14± 0.01[bc]	0.45± 0.05[ab]	1.63± 0.01[b]
DHT 80	24.90± 0.14[a]	2.13± 0.00[bc]	0.45± 0.05[ab]	1.67± 0.03[b]
HMT 80	28.91± 0.10[b]	2.56± 0.03[a]	0.5± 0.14[ab]	1.82± 0.07[a]
C 100	25.43± 0.47[a]	2.17± 0.03[b]	0.5± 0.00[ab]	1.64± 0.01[b]
DHT 100	24.11± 0.25[a]	2.17± 0.04[b]	0.45± 0.05[ab]	1.68± 0.01[b]
HMT 100	26.16± 0.50[a]	2.59± 0.02[a]	0.55± 0.07[ab]	1.84± 0.01[a]
C 120	24.56± 0.13[a]	2.19± 0.01[b]	0.5± 0.14[ab]	1.67± 0.01[b]
DHT 120	24.08± 0.48[a]	2.07± 0.03[c]	0.4± 0.00[b]	1.70± 0.01[b]
HMT 120	24.99± 0.51[a]	2.61± 0.03[a]	0.6± 0.00[a]	1.87± 0.05[a]

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین نمونه‌ها است (p<۰/۰۵).

Different letters in each column indicate significant differences between samples ($p<0.05$).

اندیس‌های حجم، تقارن و یکنواختی

نتایج حاصل از اندازه‌گیری اندیس‌های شکل نان در جدول ۳ ارائه شده است. تأثیر اندازه ذرات و تیمار حرارتی بر اندیس حجم نمونه‌ها معنی‌دار بود، بطوری‌که نمونه C 80 بطور معنی‌داری نسبت به نمونه C 100 و C 120 از اندیس حجم کمتری برخوردار بود، همچنین بین نمونه‌های تیمار حرارتی مرطوب نمونه HMT 80 نسبت به نمونه HMT 100 و HMT 120 اندیس حجم کمتری داشت، بطور کلی تیمار حرارتی مرطوب نسبت به تغییر اندازه ذرات و تیمار حرارتی خشک

اثر مطلوب‌تری بر اندیس حجم نمونه‌ها داشت، زیرا تمام نمونه‌های تیمار حرارتی مرطوب نسبت به نمونه شاهد از اندیس حجم بیشتری برخوردار بودند. تأثیر تیمار حرارتی مرطوب بر آرد برنج احتمالا با ژلاتینه جزیی مولکول نشاسته و ایجاد قوام مناسب منجر به حفظ گاز تولید شده در طول تخمیر شده و از ادغام و از بین رفتن آن در حین تخمیر و پخت جلوگیری می‌کند و منجر به افزایش حجم نان می‌شود (Villanueva *et al.*¸ 2019). فتحی و همکاران (Fathi *et al.*¸ 2016)، در بررسی تأثیر تیمار حرارتی مرطوب در آرد ارزن پروسو بر حجم کیک گزارش کردند کیک‌های حاوی آرد تیمار شده در رطوبت ۳۰ درصد و دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد همچنین با رطوبت ۲۰ درصد و دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد دارای حجم بیشتر بودند.

جدول ۳- اندیس‌های شکل نان‌های بدون گلوتن

Table 3- Shape indexes of gluten-free breads

انواع نان Breads	اندیس Index		
	حجم Volume	یکنواختی Uniformity	تقارن Symmetry
C 80	9.50± 0.00[c]	0.16± 0.05[a]	0.13± 0.05[a]
DHT 80	9.60± 0.30[c]	0.10± 0.00[a]	0.20± 0.10[a]
HMT 80	9.90± 0.10[b]	0.13± 0.05[a]	0.16± 0.05[a]
C 100	9.85± 0.20[b]	0.16± 0.05[a]	0.23± 0.05[a]
DHT 100	9.70± 0.00[bc]	0.10± 0.05[a]	0.26± 0.05[a]
HMT 100	10.35± 0.15[a]	0.06± 0.05[a]	0.33± 0.11[a]
C 120	9.95± 0.15[b]	0.13± 0.05[a]	0.20± 0.10[a]
DHT 120	9.50± 0.10[c]	0.10± 0.00[a]	0.16± 0.05[a]
HMT 120	10.65± 0.26[a]	0.13± 0.15[a]	0.40± 0.26[a]

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین نمونه‌ها است (p<۰/۰۵).

Different letters in each column indicate significant differences between samples (p<0.05).

نمونه‌های تیمار حرارت خشک نسبت به هم تفاوت معنی‌داری نداشتند، اما تأثیر تیمار حرارتی خشک بر اندازه ذرات کمتر ۱۲۵ میکرون منجر به کاهش حجم نان شد. گلوتلین جزء اصلی پروتئین در آرد برنج است که توسط پیوند دی سولفیدی زیر واحدهای کوچک به هم متصل می‌شود که به حجم خوبی از نان کمک می‌کند. در طول عملیات حرارت خشک گروه‌های سولفیدریل گلوتلین احتمالاً در معرض قرار می‌گیرند که منجر به آبگریزی سطح پروتئین‌ها در نتیجه تغییر پروتئین‌ها از حالت آب دوست به آبگریز می‌شود که این امر در اندازه ذرات ریزتر به دلیل محتوای پروتئین بالا بیشتر مشهودتر است (Tabara *et al.*¸ 2015). ناکاگاوا و همکاران (Nakagawa *et al.*¸ 2016)، در بررسی تیمار حرارت خشک آرد برنج در تولید نان برنج مخلوط با گلوتن، شاهد کاهش حجم نان بودند. آنها اذعان داشتند گروه‌های سولفیدریل جدید در سطح گلوتلین آرد برنج تیمار حرارت خشک می‌تواند پیوند دی سولفیدی گلوتلین را کاهش دهند که این امر نمی‌تواند اجازه به دام افتادن گاز CO_2 و جلوگیری از خروج گاز شود و حجم نان کاهش می یابد.

رنگ پوسته و مغز نان بدون گلوتن

نتایج حاصل از شاخص‌های رنگ (L، a و b) برای پوسته و مغز نان بدون گلوتن در جدول ۴ و ۵ آورده شده است. تأثیر اندازه ذرات بر شاخص‌های رنگ مغز و پوسته نان بدون گلوتن معنی‌دار نبود (p>۰/۰۵). تیمار حرارتی مرطوب و حرارت خشک بطور معنی‌دار منجر به کاهش روشنی و افزایش زردی پوسته و مغز نان نسبت به نمونه شاهد شدند، اما تغییری بر میزان قرمزی نداشتند (p<۰/۰۵). میزان روشنی پوسته نان حاصل از تیمار حرارت خشک بطور معنی‌دار نسبت به نمونه تیمار حرارت مرطوب کمتر بود. کمترین میزان روشنی (L) را نمونه‌های حاصل از تیمار حرارت خشک در این پژوهش به خود اختصاص دادند، در سایر شاخص‌ها تفاوتی با نمونه تیمار حرارت مرطوب نداشتند. عوامل مختلفی بر رنگ پوسته مؤثر می‌باشد که می‌توان به رطوبت پوسته و شدت واکنش مایلارد اشاره کرد (Hoseney¸ 1994). احتمالا تیمار حرارتی مرطوب با حفظ متناسب رطوبت پوسته در طول پخت و کاهش نشاسته آسیب دیده منجر به کاهش واکنش مایلارد در سطح پوسته می‌شود که در نتیجه موجب بهبود رنگ پوسته نان می شود. در مورد شاخص رنگ مغزکمترین میزان روشنی و بیشترین میزان زردی مربوط به نمونه‌های حاصل از تیمار حرارتی مرطوب بود، احتمالا فرآیند شدیدتر تیمار حرارتی مرطوب بروی آرد منجر به چنین تغییرات شده است. زردی بیشتر نمونه‌های تیمار حرارتی نسبت به نمونه شاهد به دلیل تغییرات رنگ آرد در طول تیمار حرارتی است و رنگ مغز نان عمدتا به رنگ مواد تشکیل دهنده مواد مرتبط است (Villanueva *et al.*¸ 2019).

جدول ٤- پارامترهای رنگ پوسته نان‌های بدون گلوتن

Table 4- Crust color parameters of gluten-free breads

انواع نان Breads	L	a	b
C 80	69.25± 0.39[a]	10.35± 0.28[a]	36.97± 0.60[d]
DHT 80	66.06± 0.48[c]	10.10± 0.32[a]	40.22± 0.60[abc]
HMT 80	67.10± 0.20[b]	9.83± 0.16[a]	41.01± 0.48[a]
C 100	69.50± 0.21[a]	10.29± 0.55[a]	36.83± 0.38[d]
DHT 100	66.20± 0.50[c]	9.90± 0.21[a]	40.02± 0.16[bc]
HMT 100	67.34± 0.01[b]	9.71± 0.18[a]	40.74± 0.31[ab]
C 120	69.98± 0.31[a]	10.12±0.37[a]	36.24± 0.42[d]
DHT 120	66/30± 0.10[c]	9.98± 0.16[a]	39.69± 0.18[c]
HMT 120	67.47± 0.38[b]	9.62± 0.16[a]	40.52± 0.21[abc]

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین نمونه‌ها است (p<۰/۰۵).

Different letters in each column indicate significant differences between samples (p<0.05).

جدول ٥- پارامترهای رنگ مغز نان‌های بدون گلوتن

Table 5- Crumb color parameters of gluten-free breads

انواع نان Breads	L	a	b
C 80	88.07± 0.20[a]	1.74± 0.40[a]	13.32± 0.11[c]
DHT 80	86.06± 0.06[c]	2.02± 0.25[a]	15.15± 0.35[b]
HMT 80	81.45± 0.32[d]	2.03± 0.25[a]	17.31± 0.52[a]
C 100	88.96± 0.83[a]	1.95± 0.21[a]	12.85± 0.50[c]
DHT 100	86.13± 0.68[b]	1.97± 0.18[a]	15.12± 0.37[b]
HMT 100	82.04± 0.25[cd]	2.40± 0.14[a]	16.80± 0.42[a]
C 120	89.16± 0.87[a]	2.25± 0.07[a]	12.37± 0.39[c]
DHT 120	85.38± 0.01[b]	2.20± 0.57[a]	14.65± 0.78[b]
HMT 120	82.70± 0.05[c]	2.17± 0.39[a]	16.43± 0.18[a]

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین نمونه‌ها است (p<۰/۰۵).

Different letters in each column indicate significant differences between samples (p<0.05).

آنالیز پروفایل بافت نان بدون گلوتن

نتایج حاصل از آنالیز پروفایل نان بدون گلوتن در جدول ۶ آورده شده است. تأثیر اندازه ذرات و تیمار حرارتی خشک منجر به تغییر در سفتی، ارتجاعیت، بهم‌پیوستگی، فنریت و قابلیت جویدن نمونه‌ها نگردید (p>۰/۰۵). نمونه‌های تیمار حرارتی مرطوب نسبت به نمونه شاهد و تیمار حرارت خشک بطور معنی‌داری کمترین میزان سفتی و قابلیت جویدن را دارا بودند (p<۰/۰۵). مقادیر سفتی و قابلیت جویدن کمتر برای نمونه‌های تیمار حرارتی مرطوب می‌تواند به بازآرایی ساختاری نشاسته آرد در طول تیمار حرارتی مرطوب همراه باشد. نمونه حاصل از تیمارهای HMT 80 و HMT 100 نسبت به نمونه شاهد و تیمار حرارتی خشک بطور معنی‌داری فنریت کمتری را داشتند (p<۰/۰۵). کاهش فنریت نمونه‌های تیمار حرارتی مرطوب می‌تواند به علت قدرت کم پیوندهای داخلی و ساختار ضعیف بافت مغز نان نمونه های تیمار شده حاصل از ذرات درشت باشد، که نمی‌تواند الاستیسیته بالاتر نان برنج را القا کند. بورکا و همکاران (Bourekoua *et al.*, 2016)، در بررسی که بر تأثیر تیمار هیدروترمال برنج و ذرت در کیفیت نان بدون گلوتن انجام دادند گزارش کردند تیمار هیدرو ترمال برنج و ذرت منجر به بهبود کیفیت نان بدون گلوتن شد، بطوری‌که از نظرخصوصیات بافتی نان حاصل قابلیت جویدن و سفتی کمتری را نسبت به نمونه‌های شاهد نشان داد، درحالی‌که تیمار هیدرو ترمال برنج و ذرت منجر به کاهش فنریت نان شد و در مورد به هم پیوستگی، اثر منفی نشان داد. کیم و همکاران (Kim *et al.*, 2017) اثر تیمار حرارتی مرطوب آرد برنج قهوه‌ای را بر کیفیت کیک برنجی مورد بررسی قرار دادند، آنها گزارش کردند کیک حاصل از آرد برنج تیمار حرارتی مرطوب نسبت به نمونه شاهد سفتی، فنریت، بهم پیوستگی، جویدن کمتری را نشان داد.

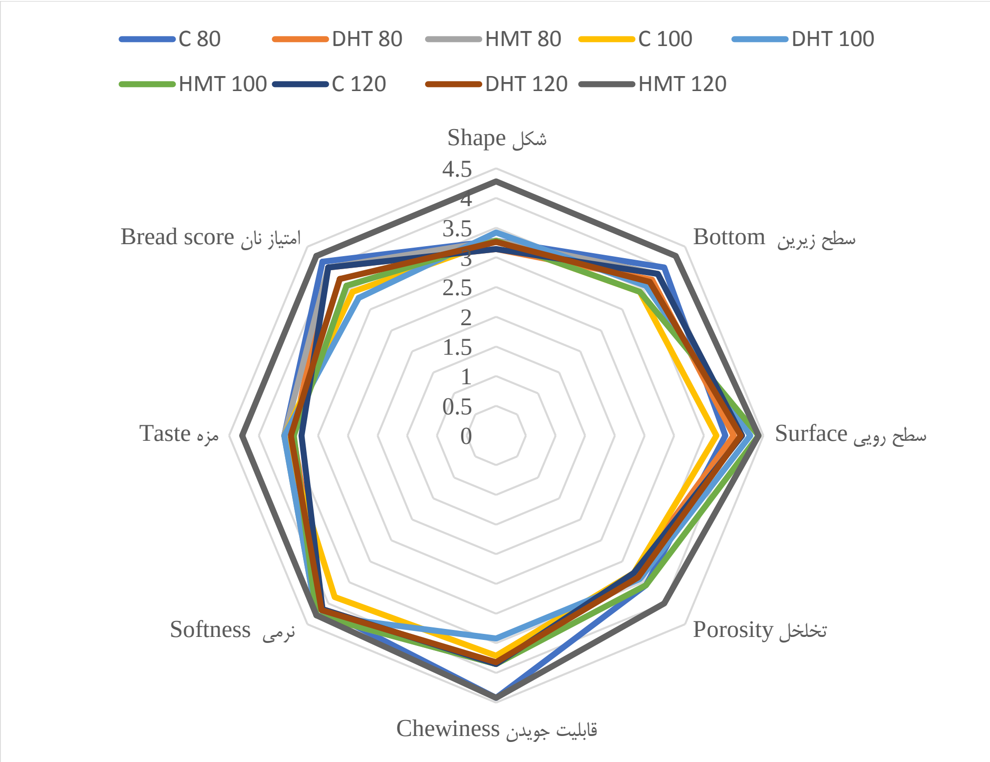
جدول ٦- نتایج آنالیز پروفایل بافت نان‌های بدون گلوتن

Table 6- Results of texture profile analysis of gluten-free breads

انواع نان Breads	سفتی Hardness (kg)	ارتجاعیت Resilience (g)	بهم پیوستگی Cohesiveness	فنریت Springiness (mm)	قابلیت جویدن Chewiness (mj)
C 80	0.383± 0.39[b]	0.395± 0.03[a]	0.610± 0.04[a]	8.025± 0.17[ab]	16.450± 1.76[ab]
DHT 80	0.371± 0.08[b]	0.307± 0.05[a]	0.435± 0.03[a]	8.125± 0.38[a]	16.125± 0.36[ab]
HMT 80	0.209± 0.03[a]	0.285± 0.07[a]	0.360± 0.15[a]	6.315± 0.50[c]	6.650± 1.27[c]
C 100	0.385± 0.07[b]	0.380± 0.11[a]	0.605± 0.07[a]	8.615± 0.65[a]	19.635± 0.40[a]
DHT 100	0.390± 0.42[b]	0.310± 0.05[a]	0.615± 0.19[a]	8.585± 0.44[a]	18.540± 1.07[ab]
HMT 100	0.216± 0.05[a]	0.320± 0.03[a]	0.510± 0.98[a]	6.955± 0.80[bc]	7.750± 2.05[c]
C 120	0.377± 0.30[b]	0.410± 0.50[a]	0.590± 0.06[a]	8.730± 0.22[a]	19.900± 0.42[a]
DHT 120	0.435± 0.09[b]	0.325± 0.02[a]	0.565± 0.09[a]	8.265± 0.29[a]	19.500± 0.98[ab]
HMT 120	0.225± 0.07[a]	0.328± 0.06[a]	0.55± 0.12[a]	7.745± 0.14[ab]	8.100± 1.06[c]

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین نمونه‌ها است (p<۰/۰۵).

Different letters in each column indicate significant differences between samples (p<0.05).



شکل ۱- نتایج ارزیابی حسی تیمارهای مختلف نان بدون گلوتن

Fig. 1. Sensory evaluation results of different gluten-free bread treatments

ارزیابی حسی نان بدون گلوتن

نتایج حاصل از ارزیابی حسی نان‌های بدون گلوتن در شکل ۱ آورده شده است. نتایج حاکی از آن است که استفاده از آرد برنج حاصل از تیمار حرارتی در تولید نان بدون گلوتن منجر به بهبود کیفیت نمونه ها حاصل نسبت به نمونه شاهد شد که امتیاز نهایی نان بدون گلوتن را افزایش داد. بیشترین امتیاز مربوط به نمونه‌های تیمار حرارتی مرطوب البته بدون تفاوت آماری نسبت به هم بود (p>۰/۰۵). تیمار حرارتی مرطوب آرد برنج به‌دلیل ژلاتینه شدن نشاسته موجود در آرد سبب حفظ رطوبت بیشتر و نرم‌تر شدن محصول نسبت به نمونه‌های تیمار حرارتی خشک و شاهد شد که این امر سبب شده تا بافت محصول نیز سفتی کمتری را نشان دهد و قابلیت جویدن آسان‌تر ایجاد کند، همچنین رنگ ظاهری مطلوب‌تر، وجود حفرات و ترک‌خوردگی کمتر در سطح نان و طعم مطلوب این نمونه‌ها سبب شد تا بالاترین امتیاز را در این پژوهش به خود اختصاص دهند. فتحی و همکاران (Fathi *et al.*, 2016) در بررسی تأثیر تیمار حرارتی مرطوب آرد ارزن بر کیفیت کیک گزارش

کردند تیمار حرارتی مرطوب تأثیر مثبتی بر پذیرش کلی نمونه حاصل نسبت به نمونه شاهد داشت.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد تغییر اندازه ذرات تأثیری بر افت وزنی، اندیس تقارن و یکنواختی، آون اسپرینگ، رنگ مغز و پوسته، نسبت مغز به پوسته و آنالیز بافت نمونه‌ها نداشت (p>۰/۰۵). تغییر اندازه ذرات و تیمار حرارتی به‌ترتیب منجر به افزایش و کاهش میزان آسیب‌دیدگی نشاسته شد و نمونه تیمار حرارتی مرطوب با اندازه ذرات کمتر از ۱۲۵ میکرون کمترین میزان آسیب‌دیدگی نشاسته را به خود اختصاص داد. استفاده از آرد با اندازه ذرات کمتر از ۱۸۰ میکرون و آرد تیمار حرارتی مرطوب با اندازه ذرات کمتر از ۱۸۰ میکرون به‌ترتیب منجر به کاهش اندیس حجم و افزایش افت وزنی نان شد، بنابراین در صفت افت وزنی تیمار حرارتی خشک بهترین تیمار بود. تأثیر تیمار حرارتی خشک و مرطوب بر آون اسپرینگ نمونه‌های حاصل از اندازه ذرات ۱۲۵ میکرون معنی دار بود، بنابراین تیمار حرارتی مرطوب در این صفت بهترین تیمار بود (p<۰/۰۵). تیمار حرارتی مرطوب و حرارت خشک بطور معنی‌دار منجر به کاهش روشنی و افزایش زردی پوسته و مغز نان شدند، بطوری‌که نمونه تیمار حرارتی مرطوب با روشنی بیشتر رنگ پوسته و زردی بیشتر رنگ مغز نسبت به تیمار حرارت خشک بهترین تیمار بود (p<۰/۰۵). نمونه‌های تیمار حرارتی مرطوب به‌دلیل افزایش نسبت مغز به پوسته نان بهترین تیمار بودند از طرفی آرد تیمار حرارتی مرطوب به‌دلیل تعویق در قدرت تورم مولکول‌های نشاسته و ژلاتینه شدن تأخیری، سبب طولانی شدن دوره انبساط و توسعه بیشتر خمیرآبه درحین پخت گردد، که این امر سبب افزایش اندیس حجم و حجم مخصوص نان شد و با کاهش سفتی و قابلیت جویدن منجر به بهبود ویژگی بافتی و کیفیت نان گردید، همچنین از نظر ویژگی‌های حسی تیمار حرارتی مرطوب بهترین نمونه بود. بطور کلی نتایج پژوهش حاضر نشان داد در مجموع صفات اندازه‌گیری شده بکارگیری آرد حاصل از تیمار حرارتی مرطوب نسبت به آرد تیمار حرارت خشک همچنین آرد با اندازه ذرات کمتر از ۱۲۵ منجر به بهبود ویژگی‌های کیفی نان بدون گلوتن شد.

References

1. AACC (2000). American Association of cereal chemists. Approved methods of the AACC, 10th ed. American Association of cereal chemists, St Paul, USA.
2. Bae, I.Y., & Lee, H.G. (2018). Effect of dry heat treatment on physical property and in vitro starch digestibility of high amylose rice starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, *108*, 568-575. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.180
3. Bao, J., & Bergman, C.J. (2018). Rice flour and starch functionality. In *Starch in Food*, 373-419. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100868-3.00010-X
4. Bourekoua, H., Benatallah, L., Zidoune, M.N., & Rosell, C.M. (2016). Developing gluten free bakery improvers by hydrothermal treatment of rice and corn flours. *Lwt, 73*, 342-350. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.06.032
5. De la Hera, E., Martinez, M., & Gómez, M. (2013). Influence of flour particle size on quality of gluten-free rice bread. *LWT-Food Science and Technology*, *54*(1), 199-206. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.04.019
6. De La Hera, E., Rosell, C.M., & Gomez, M. (2014). Effect of water content and flour particle size on gluten-free bread quality and digestibility. *Food Chemistry*, *151*, 526-531. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.115
7. Fathi, B., Aalami, M., Kashaninejad, M., & Mahoonak, A.S. (2016). Utilization of heat-moisture treated proso millet flour in production of gluten-free poung cake. *Journal of Food Quality*, *39*(6), 611–9. https://doi.org/10.1111/jfq.12249
8. Gomez, M., & Martinez, M.M. (2016). Changing flour functionality through physical treatments for the production of gluten-free baking goods. *Journal of Cereal Science*, *67*, 68-74. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.07.009
9. Haghighat-Kharazi, S., Reza Kasaai, M., Milani, J.M., & Khajeh, K. (2020). Antistaling properties of encapsulated maltogenic amylase in gluten-free bread. *Food Science & Nutrition*, *8*(11), 5888-5897. https://doi.org/10.1002/fsn3.1865
10. Hong, J., Li, L., Li, C., Liu, C., Zheng, X., & Bian, K. (2019). Effect of heat–moisture treatment on physicochemical, thermal, morphological, and structural properties of mechanically activated large A-and small B-wheat starch granules. *Journal of Food Science*, *84*(10), 2795-2804. https://doi.org/10.1111/1750-3841.14745
11. Hoseney, R.C. (1994). *Principles of cereal science and technology* (No. Ed. 2). American Association of Cereal Chemists (AACC).
12. Khwanchai, P., & Fong-In, S. (2022). Effect of heat treatment of broken rice flour as partial substitution of wheat flour on the qualities of bread. *Burapha Science Journal*, *27*(1), 171-187.
13. Kim, M.J., Oh, S.G., & Chung, H.J. (2017). Impact of heat-moisture treatment applied to brown rice flour on the quality and digestibility characteristics of Korean rice cake. *Food Science and Biotechnology*, *26*(6), 1579-1586. https://doi.org/10.1007/s10068-017-0151-x

14. Kim, M.H. (2013). Review on rice flour manufacturing and utilization. *Journal of Biosystems Engineering*, *38*(2), 103-112. http://dx.doi.org/10.5307/JBE.2013.38.2.103
15. Kurek, M.A., & Sokolova, N. (2019). Optimization of bread quality with quinoa flour of different particle size and degree of wheat flour replacement. *Food Science and Technology*, *40*, 307-314. https://doi.org/10.1590/fst.38318
16. Lawal, O.S., Lapasin, R., Bellich, B., Olayiwola, T.O., Cesaro, A., Yoshimura, M., & Nishinari, K. (2011). Rheology and functional properties of starches isolated from five improved rice varieties from West Afica. *Food Hydrocolloids*, *25*, 1785–1792. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.04.010
17. Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N., & Biliaderis, CG. (2007). Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of food Engineering*, *79*, 1033-1047. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.03.032
18. Liu, C., Song, M., Liu, L., Hong, J., Guan, E., Bian, K., & Zheng, X. (2020). Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of ball mill damaged starches from different botanical sources. *International Journal of Biological Macromolecules*, *156*, 403-410. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.04.043
19. McDermott, E.E. (1980). The rapid non-enzymic determination of damaged starch in - flour. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *31*(4), 405-413. https://doi.org/10.1002/jsfa.2740310411
20. Nakagawa, M., Tabara, A., Ushijima, Y., Matsunaga, K., & Seguchi, M. (2016). Hydrophobicity of stored (15, 35° C), or dry-heated (120° C) rice flour and deteriorated breadmaking properties baked with these treated rice flour/fresh gluten flour. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, *80*(5), 983-990. https://doi.org/10.1080/09168451.2015.1136875
21. Naqash, F., Gani, A., Gani, A., & Masoodi, F.A. (2017). Gluten-free baking: Combating the challenges-A review. *Trends in Food Science & Technology*, *66*, 98-107. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.06.004
22. Pang, J., Guan, E., Yang, Y., Li, M., & Bian, K. (2021). Effects of wheat flour particle size on flour physicochemical properties and steamed bread quality. *Food Science & Nutrition*, *9*(9), 4691-4700. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.06.004
23. Qin, W., Lin, Z., Wang, A., Chen, Z., He, Y., Wang, L., & Tong, L.T. (2021). Influence of particle size on the properties of rice flour and quality of gluten-free rice bread. *LWT*, *151*, 112236. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112236
24. Qin, Y., Liu, C., Jiang, S., Cao, J., Xiong, L., & Sun, Q. (2016). Functional properties of glutinous rice flour by dry-heat treatment. *Plos One, 11*(8). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0160371
25. Ramos, L., Alonso-Hernando, A., Martinez-Castro, M., Moran-Perez, J.A., Cabrero-Lobato, P., Pascual-Mate, A., & Mujico, J.R. (2021). Sourdough biotechnology applied to gluten-free baked goods: Rescuing the tradition. *Foods*, *10*(7), 1498. https://doi.org/10.3390/foods10071498
26. Ramzy, R.A., & Putra, A.B.N. (2021). Evaluation of white bread physical characteristics substituted by red kidney bean flour with different particle sizes and concentrations. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, *2021*, 610-615. https://doi.org/10.15414/jmbfs.2019/20.9.3.610-615
27. Renzetti, S., Heetesonne, I., Ngadze, R.T., & Linnemann, A.R. (2022). Dry heating of cowpea flour below biopolymer melting temperatures improves the physical properties of bread made from climate-resilient crops. *Foods*, *11*(11), 1554. https://doi.org/10.3390/foods11111554
28. Ruiiz, E., Srikaeo, K., & de la Revilla, L.S. (2018). Effects of heat moisture treatment on physicochemical properties and starch digestibility of rice flours differing in amylose content. *Food and Applied Bioscience Journal*, *6*(3), 140-153. https://doi.org/10.14456/fabj.2018.13
29. Seow, E.K., Gan, C.Y., Tan, T.C., Lee, L.K., & Easa, A.M. (2019). Influence of honey types and heating treatment on the rheological properties of glutinous rice flour gels. *Journal of Food Science and Technology*, *56*(4), 2105-2114. https://doi.org/10.1007/s13197-019-03691-z
30. Shittu, T.A., Dixon, A., Awonorin, S.O., Sanni, L.O., & Maziya-Dixon, B. (2008). Bread from composite cassava–wheat flour. II: Effect of cassava genotype and nitrogen fertilizer on bread quality. *Food Research International*, *41*(6), 569-578. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2008.03.008
31. Tabara, A., Nakagawa, M., Ushijima, Y., Matsunaga, K., & Seguchi, M. (2015). Effects of heat treatment on oil-binding ability of rice flour. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, *79*(10), 1629-1634. https://doi.org/10.1080/09168451.2015.1039479
32. Villanueva, M., Harasym, J., Munoz, J.M., & Ronda, F. (2019). Rice flour physically modified by microwave radiation improves viscoelastic behavior of doughs and its bread-making performance. *Food Hydrocolloids*, *90*, 472-481. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.12.048